Lane Medical Library

Über die Anwendung der Gesetze der Mechanik in der Orthodontie.

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung der Doktorwürde
der
Hohen Medizinischen Fakultät
an der
Friedrich Wilhelms-Universität
zu Berlin

vorgelegt von

Eugen Simon,
Zahnarzt
aus Konstanz.

Tag der Promotion: 26. Juli 1927.

Druck: M. Rinck, Berlin NW 6, Luisenstraße 62

1927

Gedruckt mit Genehmigung

der

Medizinischen Fakultät der Universität Berlin

D e k a n:	Professor Dr. **Arndt.**
R e f e r e n t:	Privatdozent Dr. **P. W. Simon.**
Correferent:	Professor Dr. **Schroeder.**

Ueber die Anwendung der Gesetze der Mechanik in der Orthodontie.

I.

Die Orthodontie setzt nicht nur ein volles Verständnis für die gesamte Zahnheilkunde voraus, sondern erfordert auch neben einer richtigen Diagnose eine genaue Kenntnis der Gesetze der Mechanik, die mit den gewählten Hilfsmitteln zur Anwendung kommen. Es soll Aufgabe dieser Arbeit sein, zu untersuchen, um welche Gesetze der Mechanik es sich in der Orthodontie handelt, und wie diese Gesetze bei den typischen Apparaten Anwendung finden.

In der Orthodontie führen wir Bewegungen der Zähne aus, indem wir auf sie Kräfte wirken lassen. Die Mechanik ist die Lehre von den Bewegungen und von den Kräften. Für die Bewegungen gibt es in der Mechanik drei Gesetze. Es sind die Newtonschen Bewegungsgesetze. Sie lauten:

1. Jeder Körper verharrt solange in seinem Zustand der Ruhe oder der gradlinigen gleichförmigen Bewegung, bis eine neue Kraft eine Aenderung dieses Zustandes herbeiführt.
2. Die Aenderung der Bewegung ist proportional der einsetzenden Kraft und erfolgt gradlinig zu dieser.
3. Wenn eine Kraft eintritt, so ist immer eine gleiche und entgegengesetzte Wirkung vorhanden, d. h. die Wirkungen, welche zwei Körper aufeinander ausüben, sind immer gleich und entgegengesetzt gerichtet."

Vor allem das dritte Gesetz ist in der Orthodontie von großer praktischer Bedeutung. Denn bei allen unseren Maßnahmen zur Dehnung der Kiefer und Bewegung der Zähne kommen Kräfte zur Entfaltung, die Gegenkräfte hervorrufen. Diese können unerwünschte Nebenwirkungen verursachen. Ihre richtige Erkenntnis und Einschätzung gibt uns die Möglichkeit, Maß-

nahmen zu treffen, die solche nicht bezweckten Bewegungen verhindern.

Welche Kräfte kommen in der Orthodontie zur Anwendung?

Vor der Beantwortung dieser Frage wollen wir zunächst sehen, was man in der Mechanik unter dem Begriff Kraft versteht.

„Alles was der Trägheit entgegen den Bewegungszustand eines Körpers ändert, heißt Kraft."

Die Ursache einer Bewegung ist also eine Kraft. Eine auf einen Körper dauernd wirkende Kraft erzeugt eine gleichförmige Beschleunigung, wie es Galilei in seinen Fallversuchen nachgewiesen hat. Eine Kraft ist charakterisiert durch zwei Eigenschaften, durch ihre Größe und ihre Richtung. Man kann z. B. die Richtung der Schwerkraft erkennen an der Richtung des Fadens, der einen Körper trägt. Die Größe der Kraft ist nicht ohne weiteres ersichtlich. Wenn wir sie bestimmen wollen, so ist es notwendig, daß wir die Masse des Körpers kennen, auf den die Kraft wirkt. Denn die Wirkung der Kraft wird verschieden sein, je nach dem Gewicht des zu bewegenden Körpers. Nach dem oben Ausgeführten erhalten wir also für die Größe der Kraft die Gleichung

$$\text{Kraft} = \text{Masse} \times \text{Beschleunigung}.$$

In der Mechanik unterscheidet man zwei Arten von Kräften, Fern- und Nahkräfte. Fernkräfte wirken schon auf größere Entfernungen, z. B. die magnetische Kraft, die Anziehungskraft der Erde. Für die Wirkung der Nahkräfte ist unmittelbare Berührung des Kraftspenders mit dem zu bewegenden Körper Bedingung. In der Orthodontie haben wir es mit Nahkräften zu tun, und zwar mit Zug- und Druckkräften. Mit Hilfe der Apparate bezwecken wir Zug oder Druck auf die Zähne auszuüben.

Mit dem Begriff der Kraft ist der der Arbeit verbunden. Sie ist das sichtbare Ergebnis der Kraft. Die Größe der Arbeit beurteilen wir aber nicht nur nach der Größe der Kraft, sondern auch nach der Länge des Weges, auf dem die Kraft wirkt. Es ergibt sich folgende Gleichung:

$$\text{Arbeit} = \text{Kraft} \times \text{Weg}.$$

Wollen wir in der Gleichung noch die Masse berücksichtigen,

so können wir für die Kraft Masse × Beschleunigung setzen und erhalten dann

Arbeit = Masse × Beschleunigung × Weg.

Körper, die die Fähigkeit haben, Kräfte zur Entfaltung zu bringen, also Arbeit zu leisten, besitzen Energie. Es gibt in der Mechanik zwei Formen der Energie, die ruhende oder potentielle, und die tätige oder kinetische Energie. Die zum Spannen einer Armbrust verbrauchte Arbeit befindet sich als ruhende Energie in der gespannten Sehne und verwandelt sich beim Abdrücken in die kinetische Energie des fortgeschleuderten Pfeils.

Ebenso besitzen unsere orthodontischen Apparate, der Expansionsbogen, der Gummizug, die Seide, die Feder im Spannungszustand potentielle Energie, die sie allmählich in kinetische umwandeln und dadurch Arbeit leisten. Unsere orthodontischen Apparate haben diese Fähigkeit vermöge ihrer Elastizität. Darunter versteht man die Kraft, mit der ein Körper den Verschiebungen seiner Teile Widerstand leistet. Diese ist nach dem Prinzip von actio u. reactio ebenso groß wie die äußere Kraft, welche die Verschiebungen bewirkt. Es bestehen große Unterschiede der einzelnen Körper in bezug auf die Größe der Verschiebungen ihrer Teile, die sie erleiden können, ohne daß ihre Eigenschaft, die ursprüngliche Form wieder anzunehmen, aufhört. Es gibt eine Elastizitätsgrenze; wenn sie überschritten wird, nimmt der Körper seine ursprüngliche Form nicht mehr an. Die Größe der Elastizitätskraft ist abhängig von der Länge, dem Querschnitt und dem Elastizitätskoeffizienten des Körpers. Darunter versteht man die Verlängerung, die ein Draht von einem Meter Länge und einem Quadratmillimeter Querschnitt durch die Belastung mit einem Kilogramm erfährt.

Nachdem wir den Begriff der Kraft kennengelernt haben, erhebt sich für uns die Frage:

Welche Gesetze kennt die Mechanik für die Wirkung der Kräfte?

Zunächst betrachten wir die Wirkung einer einzelnen Kraft auf einen Körper. Es wurde bereits auf die Größe und Richtung der Kraft hingewiesen. Als drittes Merkmal kommt noch der Angriffspunkt hinzu. Je nach dem Angriffspunkt der Kraft bekommen wir verschiedene Bewegungen.

Wenn eine Kraft im Schwerpunkt eines Körpers angreift, kommt eine rein fortschreitende Bewegung zustande.

Greift dagegen die Kraft außerhalb des Schwerpunktes an, so erhalten wir eine Bewegung, die sich aus einer fortschreitenden und einer drehenden zusammensetzt.

Für die Wirkung mehrerer Kräfte muß man zwei Möglichkeiten unterscheiden:

1. Mehrere Kräfte greifen an einem Punkte an.
2. Mehrere Kräfte greifen an verschiedenen Punkten an.

Für den ersten Fall gilt der Satz vom Parallelogramm der Kräfte:

„Zwei Kräfte, welche unter irgendeinem Winkel an einem Punkt angreifen, können ersetzt werden durch eine Kraft, die Mittelkraft (Resultante), welche ihrer Größe und Richtung nach dargestellt wird durch die Diagonale des aus den Seitenkräften konstruierten Parallelogramms (s. Abb. 1). Um mehrere Kräfte, die auf einen Punkt wirken, zu einer einzigen Mittelkraft zusammenzusetzen, braucht man nur dasselbe Verfahren zu wiederholen, indem man mit der dritten Kraft und der Mittelkraft aus den beiden ersten das Parallelogramm bildet. Dann stellt wieder die Diagonale die Resultante aller Kräfte dar."

Dieses Gesetz findet weitgehendste Beachtung in der Orthodontie bei allen möglichen Apparaten, worauf später näher eingegangen werden soll.

Als Beispiel für die Anwendung des Satzes vom Parallelogramm der Kräfte betrachten wir das Verhalten eines schweren Körpers auf einer zum Horizont geneigten schiefen Ebene (s. Abb. 2). Da Bewegung nur parallel zur schiefen Ebene eintreten kann, nicht aber senkrecht zu ihr, so zerlegen wir die in einem Punkt des Körpers wirkende Kraft, das Gewicht des Körpers, in zwei zueinander senkrechte Kräfte, von denen die eine, die Parallelkraft zur Länge der schiefen Ebene parallel, die andere senkrecht zu ihr steht.

Nach den Gesetzen der Geometrie erhalten wir dann die Gleichung $P:Q = h:l$, d. h. die Parallelkraft verhält sich zum Gewicht des Körpers, wie die Höhe zur Länge der schiefen Ebene.

Dieser Satz gilt, wenn die Kraft senkrecht zur Grundfläche der schiefen Ebene gerichtet ist. Ist die Kraft der Grundfläche parallel gerichtet, so entsteht Gleichgewicht, wenn die Kraft zur Last sich verhält, wie die Grundfläche zur Länge der schiefen Ebene (s. Abb. 3) $P : Q = g : l$.

Auf Grund dieser Gesetzmäßigkeiten benutzt man die schiefe Ebene zum Heben oder Herablassen von Lasten, um mit geringerer Kraft als zum senkrechten Heben oder Senken der Lasten erforderlich wäre, dieselben zu bewegen.

Eine Abart der schiefen Ebene ist die Schraube. Sie ist als eine um einen Zylinder gelegte schiefe Ebene zu betrachten. Die Länge der schiefen Ebene entspricht dem Umfang der Schraube, ihre Höhe kommt der Höhe des Schraubengangs gleich. Die gleichen Gesetze wie für die schiefe Ebene gelten auch für die Schraube. In der Orthodontie findet die Schraube Verwendung als Halte-, Zug- und Druckschraube. Mit ihrer Hilfe ist man imstande, große Zug- und Druckkräfte zur Auswirkung zu bringen.

Diese eben besprochenen Gesetzmäßigkeiten wurden vom Parallelogramm der Kräfte abgeleitet. Wir wollen nun den Fall betrachten, daß mehrere Kräfte an verschiedenen Punkten eines Körpers angreifen. Es gibt theoretisch viele Möglichkeiten, es sollen aber nur die für die Orthodontie wichtigen herausgegriffen werden.

Welche Bewegung führt ein Körper aus und wann bleibt der Körper in Ruhe, wenn mehrere Kräfte an verschiedenen Punkten angreifen? Dabei ist zu beachten, daß ein Körper drei Bewegungen ausführen kann, eine fortschreitende, eine drehende und eine, die aus den beiden ersten zusammengesetzt ist.

Wir untersuchen zuerst den Fall, daß zwei Kräfte an verschiedenen Punkten eines Körpers angreifen. Es tritt keine Bewegung ein, wenn die Richtungen der beiden Kräfte in die Verbindungslinie der Angriffspunkte fallen, einander entgegengesetzt und die Kräfte einander gleich sind (s. Abb. 4).

Ein anderer Fall sei folgender (s. Abb. 5): Die beiden Kräfte P und Q, die in den Punkten A und B eines starren Körpers angreifen, liegen in einer Ebene, bilden aber mit der Geraden A B beliebige Winkel. Wir brauchen nur die Richtungen der Kräfte bis zu ihrem Schnittpunkt zu verlängern und hier

das Kräfteparallelogramm zu zeichnen. Die Diagonale gibt nach Größe und Richtung die Resultante der beiden Kräfte, und wir können ihnen das Gleichgewicht halten durch eine dritte Kraft, welche der Mittelkraft R gleich und entgegengerichtet ist und in irgendeinem Punkt auf der Geraden CM angreift. Dasselbe gilt für mehr als drei Kräfte. Ein weiterer praktisch wichtiger Fall ist der, daß zwei Kräfte parallel gerichtet sind. Sind die Richtungen gleich, so erhalten wir als Resultierende die Summe der beiden Kräfte mit derselben Richtung. Die Kräfte verstärken sich also gegenseitig. Ist die Richtung entgegengesetzt, so gibt es keine Mittelkraft. Wir haben dann ein Kräftepaar, das eine Drehbewegung des Körpers bewirkt (s. Abb. 6).

Von dieser Tatsache wird in der Praxis sehr viel Gebrauch gemacht, wenn es sich darum handelt, Drehbewegungen auszuführen. Die Drehwirkung einer Kraft heißt das Drehmoment. Es wird dargestellt durch die Größe der Kraft und die Entfernung des Angriffspunktes vom Drehpunkt.

„Das Moment einer Kraft ist das Produkt aus der Kraft mit der von einem Punkt aus auf ihre Richtung gefällten Senkrechten."

Der Körper befindet sich im Gleichgewicht, wenn die Momente aller Kräfte, die auf ihn wirken, einander gleich sind. Einen jeden um eine feste Achse drehbaren Körper, an welchem Kräfte wirken, nennt man einen Hebel. Der feste Punkt beim Hebel heißt Unterstützungspunkt oder Drehpunkt. Die Punkte, in denen die Kräfte auf den Hebel wirken, sind die Angriffspunkte.

Die senkrechte Entfernung eines Angriffspunktes vom Drehpunkt wird als Hebelarm bezeichnet. Ein Hebel ist einarmig, wenn beide Kräfte auf derselben Seite vom Unterstützungspunkt angreifen (s. Abb. 7). Liegen dagegen die Angriffspunkte der Kräfte auf verschiedenen Seiten des Unterstützungspunktes, so wird der Hebel zweiarmig genannt (Abb. 8). Es gilt das Gesetz: Der Hebel befindet sich im Gleichgewicht, wenn die Produkte aus Kraft und Hebelarm beiderseits einander gleich sind, oder wenn die Kräfte im umgekehrten Verhältnis ihrer Hebelarme stehen. In der Praxis findet der Hebel Verwendung 1. um große Lasten mit kleinen Kräften zu bewegen, 2. als Geschwindigkeitshebel. Die Hebelgesetze haben auch für die Rolle Gültigkeit. Diese stellt einen zweiarmigen Hebel dar,

bei dem der Kraft- und der Lastarm gleich groß sind. Die Rolle hat vor allem die Aufgabe, richtungsändernd auf die Kraft zu wirken.

Wie wir gesehen haben, kommt bei jeder Kraft die Größe, die Richtung und der Angriffspunkt in Betracht. Eine Kraft kann nur auf einen in ihrer Richtung liegenden Punkt wirken. Liegt der Angriffspunkt außerhalb der Richtung der Kraft, so bedarf es einer besonderen Vorrichtung, damit die Kraft wirken kann. Solche Vorrichtungen, welche verfügbare Kräfte in zweckentsprechender Weise übertragen, nennt man Maschinen. Sie haben zweierlei Funktionen: Sie können einerseits richtungsändernd auf die Kraft wirken, andererseits vermindern sie das Verhältnis der beiden Kräfte zugunsten der angreifenden. Man unterscheidet in der Mechanik einfache und zusammengesetzte Maschinen. Die einfachen sind der Hebel, die Rolle, die schiefe Ebene und als Abarten dieser die Schraube und der Keil. Alle anderen Maschinen, auch die orthodontischen, sind aus diesen zusammengesetzt. Durch eine Maschine kann niemals Arbeit gespart werden. Die Arbeit der Kraft ist stets gleich der Arbeit der Last. So ist z. B. die Arbeit längs der schiefen Ebene stets gleich der Arbeit beim senkrechten Heben. Wird eine Last mittels eines Flaschenzuges durch eine z. B. sechsmal geringere Kraft gehoben, so steigt die Last um eine sechsmal kleinere Strecke empor, als der Angriffspunkt der Kraft herabgeht, und die beiderseits geleisteten Arbeiten sind wiederum einander gleich. Diese Tatsache hat man als „goldene Regel der Mechanik" in folgendem Satze zusammengefaßt:

„Was an Kraft gewonnen wird, geht an Weg verloren." Alle hier angeführten Gesetze der Mechanik kommen für die Handhabung unserer Apparate in Frage und sind wichtig für das Verständnis ihrer Wirkungsweise.

Wie finden diese Gesetze bei den typischen Apparaten Anwendung?

II.

Im folgenden Teile der Arbeit sollen zunächst Beispiele aus der praktischen Orthodontie für jedes der besprochenen Gesetze angeführt werden und dann die mechanischen Prinzipien für die Wirkungsweise einiger typischer Apparate erörtert werden.

Bewegungsgesetze.

Die Newton'schen Bewegungsgesetze mögen zuerst angeführt werden, da vor der Anlegung eines jeden orthodontischen Apparates ihre Kenntnis von Wichtigkeit ist. Auf das erste näher einzugehen erübrigt sich, da es keine praktische Bedeutung hat. Wir wenden uns gleich dem zweiten zu.

„Die Aenderung der Bewegung ist proportional der einsetzenden Kraft und erfolgt gradlinig zu dieser." Auf den ersten Blick mag es scheinen, als ob auch das zweite praktisch nicht wichtig sei. Es muß aber von folgendem Gesichtspunkt aus berücksichtigt werden. Es gibt uns nämlich einen Hinweis für die Bewegungsrichtung bei Aenderung der Kraftrichtung. Wenn wir auf einen Zahn eine Kraft wirken lassen, so bewegt er sich in der Richtung der Kraft, d. h. der Knochen gibt nach, es tritt eine Umformung des Knochengewebes ein im Sinne der Kraftrichtung. Wenn nun aus irgendeinem Grunde die Bewegung des Zahnes im Lauf der Behandlung eine nicht gewünschte Richtung einschlägt, so sind wir gezwungen, die Richtung der Kraft zu ändern. Dadurch tritt aber in der Umformung des Knochens eine Störung ein, wie das Oppenheim durch Untersuchungen festgestellt hat. Wir müssen deshalb darauf achten, von Anfang an die Richtung der Kraft richtig festzulegen, um die begonnene Umformung des Knochengewebes nicht zu stören und dadurch die Behandlungsdauer unnötig zu verlängern und den Erfolg zu gefährden. Das zweite Bewegungsgesetz gibt uns einen Hinweis dafür.

Eine große Rolle spielt das dritte Newton'sche Gesetz:

„Wenn eine Kraft einwirkt, so ist immer eine gleiche und entgegengesetzte Wirkung vorhanden."

Einige Beispiele aus der Praxis sollen seine Bedeutung klarmachen. Wenn wir den auf Spannung gestellten Expansionsbogen (die gestrichelte Linie auf der Zeichnung (Abb. 9) deutet diese Stellung an) in die Molarenbandröhrchen hineindrücken, so hat er infolge seiner Spannung das Bestreben, seine frühere Lage wieder einzunehmen. Er übt daher auf die Röhrchen einen Druck aus, und zwar ist der Druck auf beiden Seiten genau gleich groß, die Molaren werden im selben Maße nach buccal bewegt. Ein anderer Fall ist in der Zeichnung (Abb. 10) wiedergegeben. Zur Dehnung des Kiefers sind zwei Vollbänder mit angelöteten transversalen Röhrchen auf die Molaren zementiert. Auf dem Schraubengewinde, das in dem Röhrchen steckt, befinden sich zwei Muttern, die gegen die Röhrchen geschraubt werden können. Wenn nur die eine Mutter angezogen wird, so entsteht etwa nicht nur ein Druck auf den einen Zahn dieser Seite, sondern der genau gleichgroße Druck wirkt auf den anderen Zahn nach dem Gesetz von actio und reactio. Dieses Gesetz beherrscht das ganze Problem der Verankerungen. Es gibt zwei Möglichkeiten:

1. Die reziproke Verankerung. Hier machen wir uns die Gegenwirkung dienstbar.
2. Die stationäre Verankerung. Wir schalten die Gegenwirkung aus, wenigstens praktisch genommen.

ad 1. Man könnte viele Beispiele anführen für die reziproke Verankerung, es mögen einige genügen. Wir nehmen folgenden Fall an (s. Abb. 11): In einem sonst normalen Zahnbogen stehen die mittleren Schneidezähne extra vertiert, die seitlichen intravertiert. Wir legen einen glatten Bogen passiv in die Molarenbandröhrchen. Er liegt nur auf den extra-vertierten Schneidezähnen. Die seitlichen werden durch eine Seidenligatur an den Bogen angebunden. Die Kontraktion der Seide zieht sie in die Zahnreihe. Durch die Gegenwirkung wird auf die mittleren ein Druck ausgeübt auf dem Weg über den Bogen, der auch diese Zähne in die richtige Stellung bringt. So können wir die Gegenwirkung benutzen, um mit einer Kraft zwei entgegengesetzte Bewegungen auszuführen.

Die Behandlung des Diastema mediale gibt ein weiteres Beispiel für die reziproke Verankerung. Wie wir auf der Zeichnung sehen, bekommen die beiden Zähne Vollbänder (Abbildung 12). Das eine erhält auf der labialen Seite ein Röhrchen, durch das der Gewindeteil, welcher auf dem Band des anderen Zahnes angelötet ist, geschoben wird. Eine Mutter übt gleichzeitig auf den einen Zahn Druck, auf den anderen Zahn Zug aus und bewegt die Zähne in entgegengesetzter Richtung.

Ein anderer Fall liegt vor bei der Extraversion der beiden seitlichen Schneidezähne bei gleichzeitiger Intraversion der mittleren (s. Abb. 13). Wir versehen sämtliche Zähne mit Vollbändern An die seitlichen ist distopalational ein Häkchen angelötet. Die Bänder der mittleren Incisivi sind zusammengelötet. Eine Seidenligatur wird in der Art geführt wie die Zeichnung zeigt. Die Form des Ligaturenverlaufs entspricht der eines Omega. Daher hat die Ligatur den Namen Omegaligatur. Durch die Kontraktion der Seide entsteht ein Zug, der die mittleren Schneidezähne nach frontal bewegt im selben Maße wie die seitlichen nach occipital. Wir haben hier also die Verwendung des Prinzips von Wirkung und Gegenwirkung.

An diesen Beispielen sieht man, in welcher Weise das Reaktionsgesetz von Nutzen sein kann. Aber nicht bei allen Bewegungen kann davon Gebrauch gemacht werden. Sehr oft sind die Gegenwirkungen der angewendeten Kräfte unerwünscht. Ihre richtige Einschätzung gestattet es, Maßnahmen zu treffen, um solche unerwünschten Bewegungen zu verhindern. Es stehen uns vier Möglichkeiten zur Verfügung, um die Gegenwirkung auszuschalten:

1. Die Heranziehung stärkerer Zähne.
2. Ein Verankerungsblock.
3. Die starre Verbindung.
4. Der Gegenzug.

Einige Beispiele aus der Praxis mögen es erläutern. Abbildung 14 zeigt einen Fall, wo der rechte Eckzahn innerhalb der Zahnreihe steht. Um ihn in die richtige Lage zu bringen, wenden wir die Druckschraube an. Der Eckzahn leistet infolge seiner langen und kräftigen Wurzel großen Widerstand. Es

ist daher eine große Kraft erforderlich, um ihn zu bewegen. Eine ebenso große Gegenkraft wird die Folge sein. Da aber die Bewegung irgendeines anderen Zahnes unerwünscht wäre, muß für einen Widerstand gesorgt werden, der größer als die Gegenkraft ist. Man erreicht es, wie die Abbildung zeigt, durch Vereinigung mehrerer Zähne zu einem Verankerungsblock, der einen größeren Widerstand leistet als der Eckzahn.

Ein anderes Beispiel für die stationäre Verankerung haben wir bei nur einseitiger Dehnung des Zahnbogens. Wie die Abbildung 15 zeigt, schalten wir die Gegenwirkung des federnden Bogens aus, indem möglichst viele Zähne der Gegenseite angebunden werden. Sie bilden einen Verankerungsblock und stellen einen größeren Widerstand dar, als die zu bewegenden Zähne, die einzeln und nacheinander nach buccal bewegt werden.

Einen weiteren Fall haben wir bei der Streckung eines Zahnbogens. Sämtliche Frontzähne werden an den Schraubbogen angebunden und durch Anziehen der Muttern nach frontal bewegt. Um die Gegenwirkung, nämlich die Distalverschiebung der Molaren, zu verhindern, spannen wir sog. intermaxilläre Gummizüge vom Molarenband zum Bogen des Gegenkiefers. Der Bogen liegt sämtlichen Zähnen auf und stellt dadurch auf dem Weg über die Gummizüge eine stationäre Verankerung gegenüber den Frontzähnen des anderen Kiefers dar. Aus diesen Beispielen sehen wir, wie wichtig es ist, genau über die Wirkungen der Kraft im klaren zu sein, einerseits um alle wirkenden Kräfte auszunutzen und zur Anwendung zu bringen, andererseits um uns zu schützen vor unerwünschten und den Behandlungserfolg gefährdenden Nebenwirkungen.

Hebelgesetze.

Wir können die Zähne als starre Körper betrachten, die in einem mehr oder weniger nachgiebigen Gewebe, dem Knochen, eingebettet sind. Unsere Kräfte, die zur Auswirkung kommen, können nur im Kronenteil angreifen. Im ersten Teil dieser Arbeit sahen wir, daß eine Kraft, die nicht im Schwerpunkt eines Körpers angreift, und der Schwerpunkt des Zahnes liegt ja nicht in der Krone, eine drehende Bewegung verursacht. Nun leistet aber der Knochen Widerstand. Nach den Untersuchungen

von Case entstehen z. B. bei Druck in labial-lingualer Richtung zwei Widerstandsgebiete im Knochen, das eine entlang dem lingualen Alveolarrand, das andere an der facialen Seite des appicalen Drittels der Wurzel (Abb. 16). Die Wurzelspitze führt eine geringe Drehbewegung in labialer Richtung aus, der obere Teil des Zahnes in entgegengesetzter. Der Drehpunkt der Bewegung liegt also ungefähr zwischen den beiden unteren Dritteln der Wurzel. Wir können somit den Zahn als Hebel betrachten. Je mehr der Angriffspunkt der Kraft nach der Schneidekante rückt, um so größer wird das Moment der Kraft sein, d. h. um so stärker wird der Zahn kippen. Daraus ergibt sich für uns die Folgerung: Wenn man das Kippen eines Zahnes vermeiden will, muß man die Kraft so weit als möglich cervical angreifen lassen, nämlich so nahe wie möglich im Schwerpunkt der Zahnwurzel. Ganz werden wir aber das Kippen mit dieser Maßnahme allein nicht verhindern können. Wir müssen noch zu anderen Mitteln greifen. Es gibt deren zwei. Erstens steht uns die starre Verbindung des Kraftträgers mit dem Zahn zur Verfügung, zweitens haben wir die Möglichkeit, die Kraft im Schwerpunkt der Wurzel angreifen zu lassen, indem wir uns eine Parallelwurzel schaffen (Abb. 17). Wir erreichen das dadurch, daß wir den Zahn mit einem Vollband versehen und an das Band eine Strebe löten. Sie stellt einen Hebel dar, der es uns gestattet, die Kraft an der erwünschten Stelle einwirken zu lassen. Die Wirkung ist genau so, als ob die Kraft statt in Punkt A in B angreifen würde, also im Schwerpunkt der Wurzel. Dadurch bekommen wir eine rein körperliche Bewegung. Diese Maßnahme zur körperlichen Bewegung genügt nur, wenn die Richtung der Kraft ungefähr durch die Schwerachse des Zahnes geht. Es ist der Fall bei der labial-lingual oder lingual-labial Bewegung der Schneidezähne. Anders verhält es sich im folgenden Fall: Der Eckzahn im Oberkiefer soll körperlich nach distal bewegt werden. Wenn wir nur labial eine Kraft anwenden, so stellt der Zahn in horizontaler Richtung einen Hebel dar. Die Zeichnung (Abb. 18) gibt die Verhältnisse im Querschnitt wieder. Es ist also eine zweite Kraft notwendig, die lingual angreift, um das Drehmoment der buccalen Kraft aufzuheben. Das sog. Dreihakenband nach Simon ist ein vorzügliches Mittel, um Eckzähne

körperlich zu bewegen, die ja infolge ihrer langen und kräftigen Wurzel besonders starken Widerstand leisten. Hier haben wir bereits einige Beispiele für die Anwendung der Hebelgesetze kennengelernt. Die Hebelgesetze kommen bei allen Drehbewegungen der Zähne um ihre drei Achsen zur Geltung. Einige weitere Beispiele mögen es noch näher erläutern. Zur Drehung eines Zahnes um seine Sagittalachse verwenden wir das Balkenband nach Simon. Wie die Abbildung 19 zeigt, stellt es einen zweiarmigen Hebel dar; zwei Seidenligaturen vom Balken zum Bogen, der horizontal liegt, bewirken einen Zug in entgegengesetzter Richtung und drehen dadurch den Zahn. Die Wirkung hängt nach den Hebelgesetzen 1. von der Länge des Hebelarms, 2. von der Größe der Kraft der Seidenligaturen ab. Von der ersten Bedingung wurde beim Apparat Gebrauch gemacht, indem der Balken ziemlich lang gewählt wurde.

Für die Bedeutung des Hebelarms führt Pfaff in seinem Lehrbuch folgendes Beispiel an:

„Soll der Zahn, dessen Horizontalquerschnitt in der Skizze (Abb. 20) schraffiert dargestellt ist, in der Pfeilrichtung gedreht werden, so ist es nicht zweckmäßig, den Zug Zb in B angreifen zu lassen, statt in A, da der Hebelarm OB viel kleiner als OA ist. Der Hebelarm ist auch abhängig von der Richtung der Kraft. Er ist am größten, wenn sie tangential wirkt."

Die Abbildung 21 erläutert es. Es sind drei Kräfte in verschiedener Richtung eingezeichnet, mit ihrem zugehörigen Hebelarm. Wir sehen, daß die tangentiale Kraft den größten Hebelarm hat.

Ein weiteres Beispiel für die Anwendung des Hebels zum Drehen der Zähne sehen wir in Abbildung 22. Angle benützte früher einen federnden Hebel, um die dachziegelförmig nebeneinander gelagerten mittleren Schneidezähne zu gleicher Zeit um ihre vertikale Achse zu drehen. Der elastische Bogen sucht seine ursprüngliche Gestalt, die gradlinige Form, anzunehmen. Er drückt gegen die medialen Kanten der beiden Zähne und zieht gleichzeitig an seinen Enden in entgegengesetzter Richtung, wodurch die Drehung erfolgt. Dieser elastische Bogen stellt zwei Hebel dar, der eine von der Länge CD, der andere von der

Länge CE. Es sind zweiarmige Hebel mit dem Drehpunkt in A und B. Diese beiden Punkte sind die sog. Knotenpunkte, um die der Bogen schwingt. Dasselbe Prinzip finden wir in der Physik, wenn wir die Schwingungen einer Stimmgabel betrachten. Auf der Skizze Abbildung 23 sehen wir die beiden Knotenpunkte A und B, die ihre Lage nicht verändern, und um welche die Schwingungen der Gabel sich bewegen. Dieselben Bewegungen führt auch der Expansionsbogen aus, je nach der Biegung, die wir ihm geben. Weiter unten soll näher darauf eingegangen werden. Bei einem anderen Verfahren nach Angle zur Drehung von Zähnen kommt der Hebel in folgender Weise zur Verwendung (s. Abb. 24). Der seitliche Schneidezahn, der gedreht werden soll, erhält ein Vollband mit angelötetem wagerechtem Röhrchen, das zur Aufnahme des einen Endes des Hebels dient. Das andere Ende wird, wie die Zeichnung zeigt, an dem Prämolaren verankert. Der Drehpunkt des Hebels liegt ungefähr im Punkte A. Der Punkt B wird eine Bewegung in der Pfeilrichtung ausführen, was man bei der Handhabung des Apparates berücksichtigen muß. Der Unterschied in der Wirkung der beiden angeführten Beispiele beruht darauf, daß im ersten Beispiel die Verankerung reziprok ist, während im zweiten Fall eine stationäre Verankerung des einen Endes gewählt wurde. Diese beiden Beispiele sind zum Verständnis der Wirkungsweise des Expansionsbogens von großer Bedeutung.

Die Rolle als Maschine hat eine richtungsändernde Wirkung in der Orthodontie. Die Abbildung 25 erläutert ihre Anwendung. Wollen wir die Kraft des Gummizugs, der den gedrehten Schneidezahn in die richtige Lage bringen soll, reziprok verankern, indem wir gleichzeitig den intravertierten Prämolaren in die Zahnreihe ziehen, so bringen wir zu diesem Zweck an den entsprechenden Stellen des Bogens Häkchen an, die die Funktion einer Rolle erfüllen, und können dadurch den Gummizug in der erforderlichen Richtung wirken lassen. Diese Beispiele zeigen uns, welche Rolle die Hebelgesetze in der Orthodontie spielen, denn 1. haben wir sie bei allen Bewegungen, die wir ausführen, insofern zu beachten, als die Zähne als Hebel betrachtet werden können, 2. kommen sie zur Geltung, wenn wir den Hebel als Maschine verwenden, um Drehbewegungen auszuführen und um die Kräfte in erforderlicher Weise zu übertragen.

Parallelogramm der Kräfte.

Als nächstes wichtiges Gesetz der Mechanik wollen wir das vom Parallelogramm der Kräfte an Hand von Beispielen besprechen. Mit seiner Hilfe können wir sehr viele Bewegungen, die unsere Apparate erzeugen, richtig vorausbestimmen und erklären. Wenn wir z. B. den Expansionsbogen in Vereinigung mit der Schraube verwenden, so sind es zwei Kräfte, die zur Auswirkung kommen, 1. die Expansionskraft des Bogens, 2. der Druck der Schraube. Es sind also zwei Kräfte, die an einem Punkt, z. B. am Molarenbandröhrchen, angreifen und in verschiedener Richtung wirken. Wir haben uns die beiden Kraftrichtungen auf der Skizze eingezeichnet (Abbildung 26) und erhalten als Resultierende eine Kraft, die je nach der Größe der einen oder anderen mehr oder weniger nach buccal oder frontal gerichtet ist. Dieses Gesetz gilt für jeden Punkt des Expansionsbogens. Durch entsprechendes Abwägen der beiden Kräfte kann man die Zähne in beliebiger Richtung bewegen. Auch hier sei auf die Gegenwirkung hingewiesen, die sich in einer Distalbewegung des Molaren geltend macht. Aus der Expansionskraft des Bogens und der Gegenwirkung der Schraube bekommen wir eine Resultierende, die den Molaren nach disto-buccal bewegt. Das Gesetz vom Kräfteparallelogramm gilt allgemein für alle die Fälle, wo die Wirkungen zweier Kräfte, die an einem Punkt angreifen, in Frage kommt.

An dieser Stelle sei die Nebenwirkung einer Ligatur erwähnt, die sich mit Hilfe des Satzes vom Parallelogramm der Kräfte und der Wirkung zweier parallel entgegengesetzt gerichteter Kräfte erklären läßt. Es handelt sich um die einfache Ligatur. Wie man auf der Zeichnung (Abb. 27) sieht, kann die kontraktile Kraft der Ligatur nach dem Kräfteparallelogramm in vier Kräfte zerlegt werden, in zwei, die senkrecht zum Bogen und in zwei, die parallel zum Bogen wirken. Die beiden letzten sind parallel und entgegengesetzt gerichtet, rufen also eine Drehbewegung des Zahnes um seine sagittale Achse hervor. Die Drehung wird zwar langsam erfolgen, da der Hebelarm „a" sehr klein ist, aber bei längerer Wirkung kommt sie immerhin zur Geltung. Diese Nebenwirkung läßt sich vermeiden mit Hilfe der Doppelligatur. Andererseits kann diese Wirkung der einfachen Ligatur auch zur Drehung von Zähnen verwendet

werden, die in geringem Grade um ihre sagittale Achse geneigt sind.

Schiefe Ebene.

Sie findet in der Orthodontie Anwendung 1. zur Bewegung einzelner Zähne und 2. zur Behandlung der mandibulären Retraktion. Sie soll zunächst in der Anwendung bei der Verschiebung von Einzelzähnen besprochen werden. Zur Beseitigung der Intraversion eines oberen, der Extraversion eines unteren Frontzahnes genügt sie zuweilen als einziges Behandlungsmittel. Die Anordnung des Apparates zeigt Abbildung 28. Die schiefe Ebene stellt hier eine Maschine dar, die die Funktion hat, richtungsändernd auf die Kraft zu wirken. Sie überträgt die Kraft des einen Kiefers in der erforderlichen Richtung auf den Gegenkiefer. Aus der Gleichung für die schiefe Ebene $P:Q = h:l$ ergibt sich für uns folgendes: P wird um so größer, je größer h ist. P nähert sich also um so mehr der Größe Q, nämlich der Kaukraft, je steiler die schiefe Ebene ist. Daraus sehen wir, daß die Kaukraft um so besser ausgenutzt wird, je steiler wir die schiefe Ebene gestalten. Wenn der bucco- oder labio-linguale Abstand der beiden Zähne ziemlich groß ist, so wird auch die Länge der schiefen Ebene entsprechend groß. Wenn wir nun aus irgendwelchen Gründen die Höhe nicht entsprechend vergrößern können, so wird die Wirkung des Apparates sehr langsam sein, weil dann die Kraft P sehr klein ist.

Zur Behandlung der mandibulären Retraktion kommt die schiefe Ebene ebenfalls zur Verwendung. Ein zwei Millimeter starkes Blech wird in abwärts geneigter Lage an die vier oberen Schneidezahnbänder angelötet, so daß beim Zubeißen die unteren Schneidezähne daran nach vorn gleiten. Die Abbildung ist dem Buch von Simon „über Vollbänder und Nebenapparaten der Orthodontie" entnommen. Der Verfasser schreibt folgendes über die Wirkung: „Der Erfolg beruht auf der funktionellen Umformung der im Wachstum zurückgebliebenen Unterkieferteile." Voraussetzung dafür ist eine richtige Diagnose, wie sie sicher nur nach der Simonschen Diagnostik gestellt werden kann. Die Diagnose nach der Occlusion (Angle) versagt in diesem Falle. Die Abbildung 29 zeigt den Apparat. Auch hier hat die schiefe Ebene eine richtungsändernde Wirkung auf die Kaukraft des Unterkiefers.

Schraube.

Als Abart der schiefen Ebene haben wir die Schraube kennengelernt. Sie wird als Befestigungs-, Zug- und Druckschraube verwendet. Ein Beispiel für die Zugschraube wurde bereits bei der Besprechung der reziproken Verankerung angeführt (Abb. 12). Ein ähnlicher Fall für ihre Verwendung liegt vor, wenn die lückenhafte Stellung der Schneidezähne beseitigt werden soll. Abbildung 30 veranschaulicht uns die Wirkung des Apparates, der von Simon angegeben wurde. Das Schraubengewinde wird an das seitliche Schneidezahnband angelötet und durch die drei Röhrchen der anderen geführt. Die Mutter wird gegen den anderen seitlichen Schneidezahn geschraubt und zieht dadurch die Zähne zusammen. Der Apparat ist sehr wirkungsvoll und in der Bedienung sehr einfach. Durch die Art der Verankerung werden die Zähne rein körperlich bewegt.

Die Druckschraube ist indiziert in Form des Querschraubenapparates bei hochgradigen Fällen der alveolären und maxillären Kontraktion. Der Apparat, wie ihn die Abbildung 31 zeigt, hat den Vorteil des Fortfalls der Ligaturen und der rein körperlichen Bewegungsart. Bei Besprechung der stationären Verankerung sahen wir einen anderen Fall, wo die Druckschraube angewendet wurde (Abb. 14). Zusammenfassend ist über die Anwendung der Schraube zu sagen: Sie kommt vor allem in Betracht, wenn es sich um die Ueberwindung sehr großer Widerstände handelt, denn sie ist auf Grund des Prinzips der schiefen Ebene ein vorzügliches Mittel, um die Kraftwirkung in hohem Maße zu steigern; ferner gibt sie uns die Möglichkeit, die Kraft durch die Höhe des Schraubengangs fein zu regulieren. Allerdings muß man berücksichtigen, daß sie bei nicht starrer Verankerung eine Drehwirkung zur Folge hat, sobald die Richtung der Kraft nicht durch den Schwerpunkt des Körpers geht; es sind dann die Hebelgesetze zu beachten. Ein Nachteil der Schraube ist die intermittierende, traumatische Wirkung, die vom Gesichtspunkt einer physiologischen Beeinflussung des Knochens aus nicht erwünscht ist. In dieser Hinsicht ist die Wirkung der Feder physiologisch richtiger, denn sie wirkt allmählich aber dauernd und kommt daher denjenigen natürlichen Kräften eher gleich, die imstande sind, ähnliche Umformungen des Knochens zu bewirken,

wie sie im Sinne von Resorption und Apposition des Knochens vor sich gehen.

III.

Nachdem wir nun an Hand von Beispielen gesehen haben, wie die im ersten Teil besprochenen mechanischen Gesetze in der Orthodontie zur Anwendung kommen, wollen wir jetzt die typischen Apparate, wie sie bei der Behandlung der verschiedenen Anomalien zur Verwendung kommen, betrachten und ihre Wirkungsweise mit Berücksichtigung dieser Gesetze untersuchen.

Balkenapparat.

nach Simon.

Der Apparat, der zur Behandlung sehr vieler Anomalien angewandt wird und mit dessen Hilfe wir imstande sind, vielerlei Bewegungen auszuführen, ist der Balkenapparat. Er dient zur Behandlung

1. der Kontraktion,
2. a) der Abstraktion,
   b) der Attraktion,
3. in Verbindung mit intra- und intermaxillären Gummizügen zur Behandlung der Pro- und Retraktion,
4. zur Regulierung von Einzel-Zahnabweichungen.

Damit wäre er der Universalapparat zur Behandlung sämtlicher Anomalien, wenn er imstande wäre, die Zähne auch körperlich zu bewegen. Diese Forderung erfüllt er aber in seiner gewöhnlichen Anordnung bei koronalem Angriffspunkt seiner Kraft nicht. Ferner ist seine Anwendung bei der Behandlung einiger Einzelabweichungen umständlich und nicht so wirkungsvoll wie andere eigens dazu konstruierte Apparate. Die Abbildung 32 zeigt den Balkenapparat. Er besteht aus den Ankerbändern mit den Lingualbalken und dem glatten Bogen oder dem Schraubbogen. Der Lingualbalken stellt einerseits in gewisser Beziehung eine stationäre Verankerung des Molaren dar, andererseits hat er den Zweck, mit den Molaren sämtliche anliegenden Zähne mit nach buccal zu bewegen unter Vermeidung von irgendwelchen Ligaturen. Bei der Besprechung des federnden Hebels haben wir die Schwingungsfiguren der Stimmgabel kennengelernt. Den

umgekehrten Vorgang haben wir beim Expansionsbogen; was bei ihm Ruhelage ist, nämlich die Biegung, die wir ihm geben, ist bei der Stimmgabel der größte Ausschlag nach der einen oder anderen Seite. Die Stellung des Bogens nach dem Hineindrücken in die Röhrchen entspricht der Ruhelage der Stimmgabel. Er hat nun das Bestreben, in seine ursprüngliche Stellung zurückzugehen und führt dann die Bewegung 1 oder 3 aus analog den Schwingungen der Stimmgabel (s. Abb. 33). Diese geben uns also einen Hinweis, wie die Bewegungen an den verschiedenen Stellungen des Bogens vor sich gehen. Die Punkte A 1 und A 2 führen keine Bewegung aus. Es sind die Knotenpunkte für die Schwingungsbewegungen.

Es kommt nun vor allem darauf an, ob der ganze Zahnbogen gedehnt werden soll, oder nur der vordere oder seitliche Teil. Im letzteren Fall biegen wir den Bogen so, wie die gestrichelte Linie auf der Skizze (Abb. 34) andeutet. Der Drehpunkt liegt bei A. Auf Grund der starren Verbindung entspricht dem Punkt A der Punkt D, der also ebenfalls als Drehpunkt und zwar für den Balken aufzufassen ist. Daraus ergibt sich, daß die Molaren am meisten bewegt werden, während die Bewegung der anderen dem Balken anliegenden Zähne abnimmt mit ihrer Entfernung vom Molaren. Der Eckzahn wird bei dieser Biegung keine Bewegung ausführen. Der mittlere Teil des Bogens übt einen Druck auf die Frontzähne aus in der Pfeilrichtung. Das müssen wir berücksichtigen; wir können diese Kraft ausschalten, indem wir gleichzeitig die Muttern etwas anziehen.

Im anderen Fall, wo nur der vordere Teil gedehnt werden soll, können wir aber trotzdem den Bogen benutzen. Hier leistet der Balken gute Dienste. Wir verlegen den Drehpunkt von A nach B. Die gestrichelte Linie auf der Skizze (Abb. 35) zeigt wieder die Art der Biegung. Es ist die sog. Kniebiegung. Nach dem Hineinzwängen des Bogens in die Röhrchen kommt seine Federung in der Pfeilrichtung zur Geltung. Dadurch haben die Molaren das Bestreben, sich zu drehen und übertragen diese Kraft durch den Balken auf die ihm anliegenden Zähne. Der Punkt D wird den größten Weg zurücklegen, da er den längsten Hebelarm hat. Die Kraft wird aber nach den Hebelgesetzen entsprechend kleiner sein. Bei der Kniebiegung des Bogens muß man auch noch den Druck auf die Frontzähne berücksichtigen, der

wieder durch Anziehen der Muttern kompensiert werden kann. Beide angeführten Biegungen können wir gleichzeitig verwenden und bekommen dann auch beide Wirkungen, nämlich die Dehnung des ganzen Zahnbogens. Mit Hilfe der Schraube liegt es ferner in unserer Hand, auch das Gebiet der Frontzähne zu dehnen (strecken). Daraus sehen wir, wie viele Möglichkeiten der Dehnung uns der Balkenapparat bietet.

Eine andere Anomalie für die Verwendung des Balkenapparates ist die Abs- oder die Attraktion. Wir wollen nur die untere Attraktion besprechen, da ja für die Abstraktion dieselben Prinzipien gelten. Der Bogen bekommt Federung in vertikaler Richtung (s. Abb. 36), indem er hochgehoben und in dieser Stellung an die Zähne angebunden wird. Er hat das Bestreben, in seine Ruhelage zurückzufedern und bewegt dadurch die Zähne in der Pfeilrichtung, d. h. er verkürzt die Zähne. Wenn der Molar nicht stationär verankert ist, wird die Gegenwirkung ihn kippen, wie der Pfeil andeutet. Meistens kann aber diese Kippung unberücksichtigt bleiben, weil der Kaudruck nach Beendigung der Regulierung den Zahn wieder aufrichtet.

Das Beispiel der oberen totalen Protraktion und der unteren mandibulären Retraktion soll uns die Verwendung des Balkenapparates bei der Gruppe der Anomalien klar machen, die von der Orbitalebene aus diagnostiziert werden. Mit der oberen Protraktion ist meistens eine seitliche Kontraktion verbunden. Dies muß zuerst beseitigt werden, um dem retrahierten unteren Zahnbogen die Möglichkeit zu geben, in die richtige Occlusion zu kommen. Der Expansionsbogen bekommt wieder die Kniebiegung, wie oben gezeigt wurde, dabei kommt uns auch der Druck des mittleren Bogenstückes auf die protrahierten Frontzähne zustatten. Nach Beseitigung der Kontraktion dient der Bogen zur Uebertragung der Kräfte, die von den intra- und intermaxillären Gummizügen ausgeübt werden. Der obere Bogen liegt sämtlichen Zähnen an. Unten werden alle Zähne an den Bogen angebunden, die Muttern sind angezogen. Auf der Zeichnung (Abb. 37) sehen wir an der Pfeilrichtung die Wirkung der Gummizüge. Beim Oeffnen des Mundes wird nach dem Parallelogramm der Kräfte eine senkrechte Kraftkomponente abgespalten, die eine Verlängerung der oberen Frontzähne zur Folge hat. Wenn diese unerwünscht ist, können wir es verhin-

dern, indem wir dem Bogen Federung nach oben geben. Dadurch ist die senkrechte Kraftkomponente des Gummizugs aufgehoben. Es liegt in unserer Hand, die Anordnungen der Kräfte zu ändern, je nachdem eine Modifikation dieser Anomalie vorliegt. Die Betrachtung des Falles nach der Simonschen Diagnostik von der Orbitalebene aus wird uns genau darüber Aufschluß geben.

Bei der Regulierung von Einzelzahnabweichungen kommt der Bogen in erster Linie zur Uebertragung der Kräfte von Schraube und Ligaturen in Betracht. Er hat also eine passive Bedeutung. In zweiter Hinsicht kommt seine aktive Kraft zur Geltung, hervorgerufen durch den Zug der Ligaturen oder den Druck der Schraube, hier vor allem, wenn wir dem Bogen die sog. Bajonettbiegung geben. Diese ist sehr wertvoll bei der Umgestaltung des Balkenapparates zum Parallelapparat; ferner hat sie den Vorteil, die Schraubenwirkung in die physiologischere Wirkung der Feder zu verwandeln. Allein bei der Supra- und Infraversion wirkt der Bogen als Motor. Die Biegung ist genau so, wie zur Behandlung der Abs- und Attraktion. Die gleichen mechanischen Gesetze wie für den Balkenapparat gelten für alle die anderen Apparate, die als wirkendes Prinzip den Expansionsbogen haben.

Apparate zur körperlichen Bewegung der Zähne.

Der Balkenapparat in seiner gewöhnlichen Anordnung hat den Nachteil, daß er die Zähne nicht körperlich bewegt. Die körperliche Bewegung der Zähne kann erzielt werden: 1. Durch das Angreifen der Kraft im Schwerpunkt der Wurzel, 2. durch starre Verbindung des Kraftträgers mit dem Zahn.

Der Doppelbogenapparat nach Case

beruht auf dem ersten Prinzip (s. Abb. 38). Durch eine am Vollband angelötete Strebe wird die Kraft des oberen Bogens auf die Wurzel übertragen. Sie ist dadurch imstande, den Zahn körperlich zu bewegen. Gleichzeitig ist es durch den unteren Bogen möglich, auch jede erforderliche Drehung des Zahnes um seine Transversalachse auszuführen. Es kommt das mechanische Gesetz der Wirkung zweier parallel und entgegengesetzt gerichteter Kräfte zur Anwendung.

Auf demselben Prinzip beruht der Parallelapparat nach Simon.

Er wird verwendet bei der häufigen Anomalie der dentalen Protraktion und alveolären Retraktion. Die Abbildung 39 zeigt seine Anordnung. „Die Wirkung des Apparates beruht darauf, daß der Gummizug direkt die Kronen nach hinten und die Wurzeln auf dem Wege über Gleithaken und Bogen nach vorn bewegt."

Der Vorteil dieses Apparates gegenüber dem Doppelbogenapparat ist der, daß die Schraubenwirkung durch Gummizugwirkung ersetzt wird. Außerdem fällt der zweite Bogen weg, was den Apparat wesentlich vereinfacht.

Auf dem zweiten, dem Prinzip der starren Verbindung, beruht der

Stiftröhrchenapparat nach Angle.

Er besteht aus einem Expansionsbogen, an dem senkrecht stehende Stiftchen angelötet sind, die in entsprechende Röhrchen passen, welche der Labialfläche der Vollbänder aufgelötet sind (siehe Abb. 40). Dadurch ist eine starre Verbindung hergestellt und die körperliche Bewegung des Zahnes gewährleistet. Wenn die Stiftchen rund sind, haben wir keine starre Verbindung, sondern eine eingelenkige, denn wenn das Röhrchen dann nicht in der Mitte des Bandes angelötet ist, kommt eine Drehbewegung des Zahnes um seine Vertikalachse zustande. Wir können uns diesen Umstand zunutze machen, wenn es sich außer der körperlichen Bewegung um eine Drehung des Zahnes handelt. Der Vorteil des Apparates beruht auf seiner Einfachheit gegenüber dem Doppelbogenapparat; ferner fallen die Ligaturen weg. Seine Handhabung ist aber schwierig und eine evtl. Aenderung der Kraftrichtung nicht so leicht auszuführen, wenn ein Umlöten der Stiftchen oder Röhrchen, was nicht gerade von Vorteil ist, vermieden werden soll.

Bandbogen nach Angle.

Die Nachteile des Stiftröhrchen-Apparates haben Angle veranlaßt, eine andere Art der starren Verbindung herzustellen. Er erreicht das mit seinem Bandbogen-Apparat. Der Bogen hat keinen runden, sondern einen rechteckigen Querschnitt und paßt genau in ein Schloß, das der Labialfläche der Bänder

aufgelötet ist (s. Abb. 41). Er ist ein vorzüglicher Apparat zur körperlichen Bewegung und gestattet auch die Drehung der Zähne um ihre Transversalachse, indem man dem Bogen um seine Längsachse Federung gibt.

Circumapparat nach Simon.

Er beruht auch auf der Wirkung zweier parallel und entgegengesetzt gerichteter Kräfte, nur daß hier die Kräfte nicht gleichzeitig, sondern nacheinander wirken. „Er bezweckt die Aufrichtung nach außen gekippter Kronen der Prämolaren oder Frontzähne sowie die Verlängerung oder Verkürzerung von Schneidezähnen. Er ist sehr nützlich im Retentionsstadium nach erfolgter stärkerer Dehnung (bei alveolärer oder maxillärer Kontraktion), wenn diese auf die übliche Art mit dem Bogen vorgenommen zu einer Kippung geführt hat, deren spontane Behebung durch die Kaufunktion (bei Erwachsenen oder schwächlichen Kindern) nicht zu erwarten steht oder zur Sicherheit unterstützt werden soll." Er besteht aus einer an den Molarenbändern angelöteten Innenspange und einem von rechts nach links über die Buccal- bzw. Labialflächen gespannten Gummiring (s. Abb. 42). Die Abbildung 43 zeigt die Verhältnisse im Querschnitt. Der Zahn stellt einen zweiarmigen Hebel dar. Der Drehpunkt liegt im Punkt B (Innenspange), der Angriffspunkt der Kraft bei A (Gummiring), die Last ist die labiale Knochenlamelle, die durch die Wurzel nach labial verdrängt werden soll. Simon hat eine Nebenwirkung des Apparates beobachtet. Er schreibt in seinem Buch „über Vollbänder und Nebenapparate in der Orthodontie": „Mitunter zeigt sich als Nebenwirkung eine unerwünschte Verkürzung der Eckzähne, weil an ihrer stärker gerundeten Labialfläche der Gummi wie an einer schiefen Ebene wirkt. Dies wird leicht vermieden durch nachträglich noch aufsetzbare Bänder mit Lingualhaken, die von unten her die Innenspange umgreifen." Die Wirkung des Apparates ist vorzüglich, da er es gestattet, nachträglich noch kleine Unregelmäßigkeiten zu korrigieren.

Der Lingualapparat.

Zum Schluß dieses Kapitels soll der Lingualapparat, wie er in der heutigen Orthodontie Verwendung findet, besprochen werden. Ebenso wie die Feder- oder Schraubenwirkung auf der

Labial- bzw. Buccalseite der Zahnreihe angewendet wird, kann sie auch an der Innenseite des Zahnbogens zur Auswirkung kommen. Die mechanischen Prinzipien bleiben die gleichen. Der heute wohl ausschließlich verwendete Lingualapparat ist der entfernbare. Er besteht aus den Ankerbändern mit den Schlössern und dem Innenbogen. Es gibt verschiedene Arten seiner Anordnung. Er liegt entweder sämtlichen Zähnen an, indem er mit seinen Biegungen auch den Interdentalräumen folgt (siehe Abbildung 44). Seine Aktivierung erfolgt durch Strecken und Biegen. Er hat in dieser Anordnung den Nachteil, daß er an der schrägen Innenfläche der Frontzähne wie an einer schiefen Ebene wirkt und hochrutscht.

Bei einer anderen Art der Biegung läßt der Bogen die Frontzähne frei und wirkt nur auf die Seitenzähne (s. Abb. 45). In dieser Anordnung ist er imstande, eine seitliche Kontraktion zu beseitigen. Wir haben es in der Hand, je nach der Biegung die vorderen oder hinteren anliegenden Zähne mehr oder weniger zu bewegen, oder alle gleichmäßig. Die gleichen mechanischen Gesetze wie für den Expansionsbogen kommen auch hier in Frage. Die Kraft an einer bestimmten Stelle ist um so größer, je kleiner der Hebelarm ist und umgekehrt.

Wir wollen an Hand der Abbildungen 46 und 47 diesen Satz betrachten. Wenn wir den mittleren Teil des Bogens strecken (gestrichelte Linie), so rücken die Punkte A 1 und A 2 nach buccal, ebenso alle anderen Punkte von A bis B. Der Punkt B hat den größten Hebelarm, folglich ist die Kraft am kleinsten, die vom Bogen an dieser Stelle ausgeübt wird. Wir müssen deshalb, wenn wir die Kraft beim Punkt B verstärken wollen, dem Bogen noch eine zweite Biegung geben, wie in Abbildung 47 angedeutet, die der Wirkung der ersten Biegung eine zweite hinzufügt und so die Kraft beim Punkt B verstärkt. Außer dieser Leistung ist der Lingualbogen imstande, mit Hilfe von angelöteten Federn auch die Frontzähne zu beeinflussen und Einzelabweichungen zu regulieren. Die Abbildung 45 zeigt eine derartige Hilfsfeder. Die Vorteile des Apparates gegenüber dem Expansionsbogen sind:

1. Fortfall der Ligaturen; daher weniger Arbeit bei der Bedienung.
2. Unsichtbarkeit.

3. Selbstreinigung durch die Zunge.
4. Verwendung als Retentionsapparat.

Die Nachteile sind aber nicht weniger groß. Gemeinsam mit dem Expansionsbogen hat er den Nachteil, daß er die Zähne kippt. Außerdem aber ist seine Anwendungsmöglichkeit lange nicht so vielseitig wie die des Expansionsbogens. Er versagt bei der Behandlung der Protraktion, der Abs- und Attraktion. Er wirkt nur in einer etwa der Occlusionsebene parallelen Ebene.

Damit sind die typischen Apparate, wie sie in der heutigen Orthodontie zur Anwendung kommen, in der Hauptsache besprochen. Wir haben gesehen, wie die im ersten Teil angeführten mechanischen Gesetze dabei Berücksichtigung finden und welchen Vorteil ihre Kenntnis bietet für das Verständnis der Wirkungsweise der Apparate.

Literaturnachweis.

Angle: Occlusionsanomalien der Zähne.

Case: Dental Orthopaedie.

Herbst: Atlas und Grundriß für die Mechanik der Kieferorthopaedie.

Lignitz: Der Lingualbogen und seine Anwendungsmöglichkeiten (Vortrag, Zeitschrift für zahnärztliche Orthopaedie).

Lommel: Lehrbuch der Physik.

Pfaff: Lehrbuch der Orthodontie.

Riecke: Lehrbuch der Physik.

Simon: Ueber Vollbänder und Nebenapparate in der Orthodontie.

Lebenslauf.

Am 8. September 1904 als Sohn des Zahnarzt Dr. Eugen Simon in Konstanz geboren, besuchte ich dort die Schule und absolvierte im März 1923 das humanistische Gymnasium. Im Mai desselben Jahres bezog ich die Universität in München und widmete mich dem Studium der Zahnheilkunde. Anfangs des vierten Semesters machte ich das Physikum. Im Sommersemester 1925 ging ich auf die Berliner Universität, wo ich mein Studium mit dem Staatsexamen im Wintersemester 1926/27 vollendete.